

9. 食感性のモデリング

池田 岳郎* Gakuro IKEDA 相良 泰行* Yasuyuki SAGARA

1. はじめに

本誌8月号において、消費者が感じる「おいしさ」や「食嗜好」の動態を解明して数量化し、これをビジネスや社会へ展開する方法論までを包括した「食感性工学」のパラダイムを紹介した¹⁾。また、その研究・開発の領域には、おいしさや食嗜好に関連する生体生理反応機序の解明、食情報のセンシングシステムと評価モデルの開発、センシング情報の感性情報への変換および食嗜好形成プロセスなどのモデリング、さらには、これらに基づく新製品の開発および販売戦略にも役立つ方法論などが含まれることを指摘した。また、10月号の小特集記事には、これらの方法論を具体化するアイデアとして、高齢少子化社会の到来に対応した「安全と安心をとどける健康・介護食サプライ社会システム」を提唱した²⁾。

このシステムの構築に当たっては、米飯を対象にして、まず視覚センサーに相当する「マイクロスライサ画像処理システム」を用いた冷凍米飯内氷結晶三次元構造解析とクリープメーターやテンシプレッサーを用いた粘弾性計測を行い、これらの機器計測に加えて健常者と高齢者を対象にした米飯の官能評価を実施した。次に、これらのデータセットにニューラルネットワークを適用して、主に機器計測結果と官能評価スコア間の相互関連性を探索し、消費者の食嗜好を満たす米飯品質を保証するのに最適な常温・冷凍条件を明らかにした。さらに、この条件を工場内で実現するプロダクトマネジメントシステムとヴァーチャルウェブサイトを融合した社会システムを実現するための構想を提案した。

この社会システムには、トレーサビリティ、テキストマイニングを利用した同時多サイトにおける官能評価手法、食育標準メニューサービス、食素材の栄養価・機能性・安全性に関するデータを関係者すべてに提供する機能などが総合的に含まれている。すなわち、消費者の食生活に関する欲求を満たすとともに、その健全化を図る社会システムとして提唱している。このように、食感性工学は消費者を起点とした科学工学に支援された商品

開発・生産方式を食品分野において具体的に実現し、新産業・市場・社会システムを創生するのに有用であることを示した²⁾。

本講座では、前号までに述べた食感性工学のパラダイムや感性センシングシステムを、消費者を起点とした実用システムへ展開するためのコア技術として不可欠と考えられる「食感性のモデリング」について概説する。

2. 感性モデリングの特徴

近年、食生活における消費者の嗜好の多様化を背景に、従来から行われてきた大量効率生産技術を主体とした生産者を起点とする商品開発・生産方式に代わり、消費者が求めている味、香りおよび機能性を明らかにし、それを製品として実現する、いわゆる消費者起点商品開発の必要性が指摘されてきた^{3-5,6)}。

このような方法により食品開発を行う際に、まず問題となるのは、消費者の求める味や香りと、開発段階における新製品の設計要素が大きく乖離している点である。ほかの工業製品、たとえばノート型パソコンの場合、消費者の求める仕様は、ハードディスク容量は80GB以上、重量は1000g以下、またバッテリーによる駆動時間は5時間以上、といった具合に消費者自身によって数値的に表現することが可能であり、これら消費者欲求の実現に関わる工学的な要因は既知であることが多い。

これに対して食品の場合、たとえば緑茶飲料では、消費者の求める香味は「すっきり感」があり「緑茶の濃さ」が感じられること、といった具合に感覚的な表現がなされるが、この香味を実現する茶葉の品種、あるいは抽出方法などの最適条件を開発担当者があらかじめ理解していることはきわめて稀であろう。消費者起点の食品開発を行うためには、開発と生産に関与する技術者が、まず消費者の求める味や香りの具体的なイメージを共有ないし

* 東京大学 大学院 農学生命科学研究科 農学国際専攻
Global Agricultural Sciences Dept., Graduate School of Life and Agr. Sciences.
The University of Tokyo

原稿受理 2003年10月14日

共感する必要がある、またその具体的なイメージを実現する設計・製造法を探索する必要がある。すなわち、マーケティングによって得られる嗜好の定量化された情報とこれに基づく商品機能・品質の設計および最適製造法の確立に対処する必要がある。

これらの必要性に対処する方法論としての食感性モデリングについて、次節以降に紹介する。その足がかりとして、ヒトが食品から甘受しうる3つの機能について述べる。

3. 食品の機能

一般に食品は3つの機能を有しているとされている⁷⁾。一次機能として、エネルギー源や体をかたちづくる成分としての「栄養機能」が挙げられ、糖質、脂質、たんぱく質などの成分がこれに関与する。また二次機能として、食べる喜びを感じとらせる「感覚刺激機能」があり、味・匂い・色・テクスチャといった要素がこれに関連する。加えて、三次機能として代謝機能・自然治癒力・免疫力を維持・増進する「生体調節機能」がある。消費者が食べたいと思う食品についての欲求は、原則としてこれら3つの機能のいずれかまたはすべてに該当すると考えられる。

3.1 一次機能（栄養機能）

学校給食や介護食、家庭の食事には、バランスのよい栄養機能を備えていることが求められる。特に栄養機能を表わす指標のひとつとして、カロリーがよく知られている。ダイエット中の消費者は低カロリーの食品を求め、食事時間が限られる消費者は短時間に高カロリーの摂取可能な食品を求めるなど、消費者はカロリーを媒介して、自分自身の食に対する感性を表現し、食行動を行うことが可能である。また一方において生産者はカロリーを指標として食品開発の方向性を定めることが可能であることから、カロリーは食の感性の一部を消費者・生産者が相互に伝え得る共通言語として、もっとも利用され、また成功している指標のひとつであると考えられる。

3.2 二次機能（感覚刺激機能）

栄養補給や代謝促進といった即物的な目的を満足させる食品とは別に、単においしい、つまり感情に訴える程度が大きい嗜好性の高い食品を開発する際には、二次機能すなわち感覚刺激機能をいかに高く実現するか、ということが重要な課題となる。そのために、開発段階の試作品について、消費者に感じられる感覚刺激機能の高さを定量的に評価し、またこの機能に影響する設計・製造上の要因・条件を明らかにする手法の開発が重要となっている。

3.3 三次機能（生体調節機能）

オリゴ糖、カテキン、DHA（ドコサヘキサエン酸）、

大豆イソフラボンおよびGABA（ γ -アミノ酪酸）など、多くの食品成分が生体調節に関わる機能性素材として注目されており、その作用機序や有効性について科学的な解明が進展している。また消費者による食品成分の生体調節機能への関心も大きな広がりを見せている現状において、消費者が食品に求める生体調節機能を明らかにし、またその機能を実現する食品を開発することも、食感性工学の重要な主題と考えられる。

ただし、三次機能の特徴は、特定成分の効果が自覚されるまでに長期的な食品摂取を要し、かつ成分と機能性の対応が比較的明瞭である点にある。これに比較して感覚刺激機能は、摂取と同時にその機能の効果が実感されること、また複数の成分の相乗効果により深みのある香味およびおいしさが生じるなど、成分と機能性が複雑に対応していることを特徴とするため、その関連性を食感性モデリングにより明らかにすることの実効性と利益は相対的に高いと考えられる。

4. 感覚刺激機能の定量評価手法

食品の有する感覚刺激機能を定量的に評価する手法は、ヒトを利用する手法と機器を利用する手法の2つに大別される。ヒトを利用する手法の典型例である官能評価では、現実にはヒトが対象の食品を摂食した際に生じる味、香りおよびおいしさの程度を比較ないし絶対的に評価することによる定量化が行われる。しかし、官能評価については、いくつかの問題点が指摘されている。まず、評価結果に官能評価パネルの体調・気分や、評価が行われる場所・環境といった要素が影響するために、再現性の高い評価結果の導出が困難である。また、信頼性の高い結果を得るために複数パネルによる評価が行われるが、一般の食品開発の現場周辺においてパネルを募り、所用時間を確保して簡便かつ安価に実施することは存外困難である。さらに食品成分の差異が最少であり、言われてみれば気付く程度には香味に影響を与えているものの、明確には評価結果に差が生じないという評価精度の問題も指摘されている。

機器を利用する手法は、対象とする食品の種類と計測対象要因により多数あり、比較的汎用性の高い計測機器としては、糖酸度センサー、味覚センサー、GC-MS（ガスクロマトグラフ-質量分析計）、HPLC（高速液体クロマトグラフ）、粘弾性測定装置などが挙げられる。機器の性能にも依るが、官能評価について指摘される再現性、簡便性および評価精度の問題は、このような機器計測によって改善ないし軽減されるが、一方において、機器計測により評価される物理量とヒトの感覚量とは必ずしも比例する関係にないことから、別途、計測値と味、香り、あるいはテクスチャの評価値との関連性、すなわ

ち物理量と感覚量の関連性を明らかにしておく必要が生じる。すなわち、食品のおいしさや嗜好を理工学的手法で計測し、数量化された情報を得るシステムを構築するためには、食品が保有している物質的属性と食にまつわる人の心理学的要因を抽出して、これら相互の関連性を明らかにし、最終的には「人の食に対する感性」を定量化しなければならないと考えられる。

このように、もっとも単純な食感性モデルの主な目的は、この物理量と感覚量の関連性を明らかにし、計測値のみから感覚刺激機能に影響を及ぼす味や香りなどの度合いを、数値として導出することにある。

5. おいしさの要因と過程

5.1 おいしさの要因

物理量と感覚量との関連について詳細を述べる前に、おいしさに影響を与える要因を定めるべきであろう。個人ではなく、一般の事象としておいしさを捉えると、その要因は単純ではない。あんパンを例にとると、焼きたてであること、甘味のあること、歯ごたえのあることなどがおいしさの要因と考えられるが、人によっては甘味

のあることは好ましくなく、また甘いものが好きな人でも満腹時にはあんパンにおいしさは感じないと考えられる。さらに、小豆に北海道大納言、砂糖に氷砂糖を用いたと知ることにより、さらにおいしく感じられることも予測される。これらの要因はおいしさを感じるヒトを主体として、図1に示すように知覚的要因、要求的要因および認知的要因の3つに大別される。

5.1.1 知覚的要因

知覚的要因とは、食品の有する外観・成分・構造に由来する外的刺激要因を指し、摂食により味、香りあるいはテクスチャなどの知覚を生じることを通じておいしさに影響する要因である。たとえば清涼飲料について、グルコースに由来する甘みと、クエン酸に由来する酸味の両者を通じて「清涼感のあるおいしさ」が感じられる場面において、おいしさの要因は、知覚的要因すなわち適当なグルコースおよびクエン酸濃度であるといえる。

5.1.2 要求的要因

要求的要因とは、ヒトの有する心理的・生理的条件に由来する内的刺激要因を指し、甘党、濃い味好き、あるいは空腹であるといったヒトの嗜好や状態を通じておいしさに影響する要因である。「蓼食う虫も好き好き」と言われるとおり、同じ食品についても食べるヒトによって感じられるおいしさが異なることが多い。また同じヒトでも、体調が優れなかったり、空腹であったりすることによって、同じ食品に感じられるおいしさに大きく差のあることは誰しも経験しているところである。このような場合には、おいしさの要因は要求的要因であり、おいしさは食品に起因する要因ではなく、それを摂食するヒトの条件により説明される。

5.1.3 認知的要因

認知的要因とは、食品について認知される付加情報に由来する外的刺激要因を指し、食品の価格、企業イメージ、パッケージデザイン、宣伝・コミュニケーション情報あるいは消費する場面・環境など、可食部の成分・構成以外の製品属性や消費状況から生じる認知を通じておいしさに影響する要因である。たとえば、薬理的に効果のない薬を鎮痛薬として与えると30%の人に鎮痛効果が認められるといったプラセボ効果は医薬の分野で有名だが⁸⁾、これと同様においしさについても、より高価であること、有名企業の製品であること、あるいは好ましいパッケージデザインであることが認知されると、その食品を摂取した際に感じられるおいしさは高まる傾向が知られている。このとき、

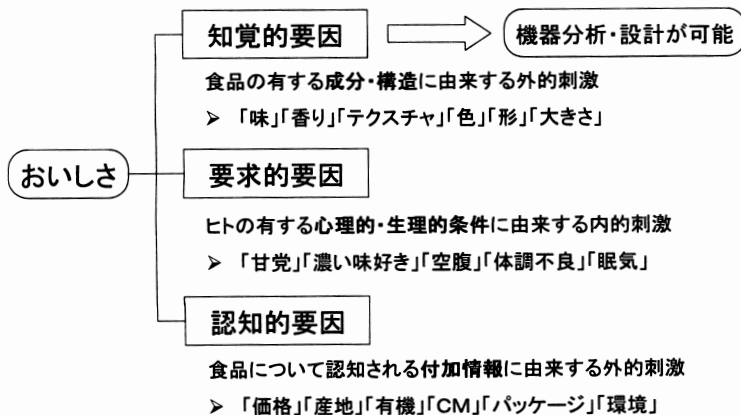


図1 おいしさに影響を与える要因

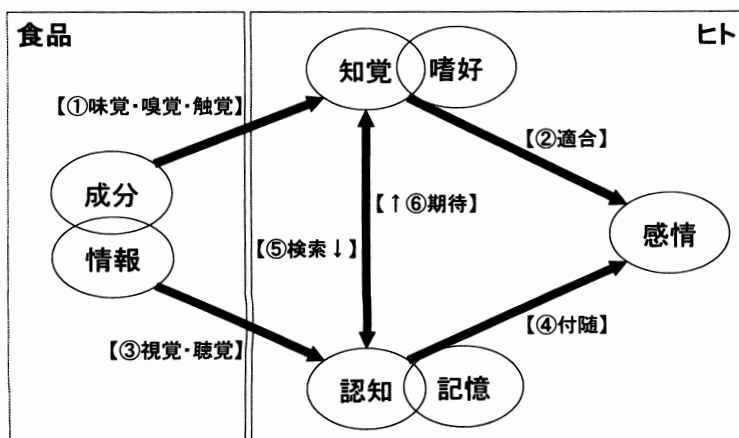


図2 食感性モデル

おいしさの要因は認知的要因であり、食品の付加情報がおいしさを左右したといえる。

5.2 おいしさが生じる過程

図2に上述した要因の相互関連性を考慮した食に関する感性を表わすモデルとして、今田やFiskeによるモデルを発展させた「食感性モデル」を示した^{9,10)}。この図に示すように、食感性に関わる因子として、食品は「成分」と「情報」、ヒトは「知覚」と「嗜好」、「認知」と「記憶」、そして「感情」を有するものとした。

「成分」は、知覚的要因としておいしさに影響する食品の成分・構造を指し、対照的に「情報」は、認知的要因としておいしさに影響する食品の付加情報を指すものとする。具体例として、溶液系食品の試料についてGC-MSにより計測される揮発性成分に関する質的データは「成分」であり、同じ試料の包装材料に記載される商品名、メーカー、原材料などのデータは「情報」として扱うものとする。

「知覚」は、外界の知覚的要因が感覚器官に与える刺激作用を通して、ヒトの脳内に生じる有意味な対象を指し、5つの基本味を含む多次元の属性により構成されると考えられる。また「嗜好」は、知覚された対象ないし属性から生じるおいしさのパターンを指し、要求的要因としておいしさに影響する因子と考えられる。

「認知」は、外界の認知的要因が、やはり視覚を主とする感覚器官を通して、ヒトの脳内に生じる知識を指し、「記憶」は、この知識と関連する経験・体験などを指すものとし、広義の要求的要因としておいしさに影響する。また最後の「感情」は、おいしさにほぼ等しいが、仕事上がりのビールに感じる爽快なおいしさ、高級料理店のフォアグラのポワレに感じる滋味のあるおいしさなど、食品ごとに多様性が認められる。以下に、これら因子を介しておいしさが生じる過程を説明する。

5.2.1 成分から感情に至る過程

おいしさの生じる過程のうち、本モデルの扱うもっとも基本的な経路は、まず食品の成分が味覚・嗅覚・触覚により甘味や酸味として知覚され（経路①）、知覚と嗜好が合致するときに（経路②）、感情、すなわちおいしさが生じるとする経路である。たとえば、グレープフルーツジュースにおいしさを感じる時、その過程としては、まずグレープフルーツに含まれる糖、有機酸およびリモニンなどの成分が、それぞれ甘味、酸味および苦味などの知覚を生じ、甘酸っぱさとほのかな苦みを好む嗜好に合えば、おいしさが感じられるものと解釈する。

5.2.2 情報から感情に至る過程

前項で説明した経路に並行する経路として、食品の情報が視聴覚により認知され（経路③）、認知に関連する記憶ないし知識が想起され、それら記憶に付随する感情

が生じるとする経路（経路④）が考えられる。再びグレープフルーツジュースを例にとると、「フロリダ産」、「低農薬栽培」などの付加情報が認知されると、現地で搾り立てのジュースを飲んだ旅行の記憶や、低農薬で健康に安心であるという知識が呼び起こされ、それらに付随する感情が生じるということは大いに起こり得ると考えられる。

5.2.3 知覚と認知の対応経路

上述した2つの経路はそれぞれ独立ではなく、相互に影響し合い、補完する関係にあると考えられる。飲用前には何のジュースかわからない飲料を飲むことにより、甘味と酸味とわずかな苦味が知覚されることから、推測により原料がグレープフルーツであることが認知される、という場合（経路⑤）も考えられる。対称的に、飲用前にグレープフルーツジュースであることが認知されており、甘味と酸味とわずかな苦味が期待されることも考えられる（経路⑥）。

6. おいしさのモデリング

これまで述べた各過程を数理モデルとして扱うためには、各因子を変数と定め、変数間の関係を関数として記述する必要がある。表1に食感性モデリングの扱う変数を示した。対象とする食品について、表に示す評価方法により各変数のデータを取得したのち、データの性質に即した関数を当てはめることにより、食感性モデリングが行われる。

6.1 食感性変数

成分 (*I*: Ingredients) は量的変数であり、通常ベクトル量であると考えられる。香りが重要な食品においては、たとえばGCによるRT (Retention Time: 保持時間) ごとのピーク面積値が成分データに相当すると考えられる。基本的には従来から分野ごとに用いられてきた食品分析手法が有効であると考えられるが、より広域の食品、また飲料全般やお惣菜などについて消費者の感性を明らかにする際には、味覚センサーや匂いセンサーなど汎用

表1 食感性モデリングの扱う変数

因子	変数	内容	尺度	評価方法
成分	<i>I</i>	Ingredients: 成分	連続	機器分析
情報	<i>A</i>	Additional Information: 付加情報	名義	操作因子
知覚	<i>P</i>	Perception: 知覚	連続	官能評価 因子分析
嗜好	<i>H</i>	Hedonic Scale: 嗜好尺度	連続	官能評価 回帰分析
認知	<i>C</i>	Cognition: 認知	名義	記述的評価 テキストマイニング
記憶	<i>M</i>	Memory: 記憶	名義	記述的評価 テキストマイニング
感情	<i>L</i>	Liking Score: 嗜好度	連続	官能評価

性の高い計測手法が望まれる。

知覚 (P : Perception) も同様に量的変数であり、ベクトル量であると考えられる。テクスチャを有する一般の食品は、塩味、酸味、歯ごたえ、焦げ香など、複数の独立な属性をもつ知覚を生じると考えられる。これは適切な項目による官能評価により量的な数値としてデータを得ることが可能である。また、感情 (L : Liking Score 嗜好度) も同様に官能評価により数値データを得ることが可能と考えられる。

嗜好 (H : Hedonic Scale) については、味や香りの好みを問うアンケートにより評価することは困難と考えられる。具体的な試料を摂取することなしに、香味に関する好みを回答することには大きな評価誤差が生じることが知られている。嗜好については、複数の試料の香味と嗜好度について評価された結果について、多変量解析を用いて相関係数または偏回帰係数などの指標を算出することにより、評価することが望ましい。

情報 (A : Additional Information) は、JAS法の定める食品表示基準に準拠する範囲において生産者の任意により付加が可能であるが、食品素材・流通形態により限定される容器・包装などの素材・形状から意図しない情報が認知されることも起こり得る。成分表示など、量的に扱うことも可能な面もあるが、製品名やTV-CFなど一般には質的変数として扱われると考えられる。

認知 (C : Cognition) および記憶 (M : Memory) は、自由記述・会話記録などにテキストマイニングなどの手法を適用して抽出することによりデータ化することが可能と考えられる。記憶については、食経験を問うアンケートによって得られるデータも利用可能と考えられる。いずれにしても質的な変数であるために、データベース構築あるいはパーティションなどの分析手法を用いることにより、ほかの変数との関連性を明らかにすることが望まれる。

6.2 食感性関数

成分から知覚が生じ、知覚と嗜好から感情が生じる過程は、認知の影響を無視するとき、それぞれ以下の式により表わされる。

$$P = f(I) \quad (1)$$

$$L = f(P, H) \quad (2)$$

ここで、 I は成分、 P は知覚、 H は嗜好、 L は嗜好度を表わす。 I は食品により異なり、 H はヒトにより異なる変数と考えられる。もし (1)、(2) の両過程について線形の関係を仮定できるならば、次に示す線形回帰式を用いることができる。

$$P_N = a_1 \cdot I_1 + a_2 \cdot I_2 + \Delta + a_M \cdot I_M \quad (a_1 \sim a_M: \text{係数}) \quad (3)$$

$$L = H_0 + H_1 \cdot P_1 + H_2 \cdot P_2 + \Delta + H_N \cdot P_N \quad (4)$$

複数の食品試料について、機器計測による成分量と、官

能評価による知覚および嗜好度のデータに上記の式をあてはめ、最小二乗法により係数を推定することにより、これらの関数を明らかにすることが可能となる。一般に、食品は多成分系であり、かつ試料の作製および評価可能な数量には限りがあるという制約のため、PLS (Partial Least Squares: 部分最小二乗法) は有効な分析手法である¹¹⁾。また成分量と香味強度には非線形性が認められることも多いため、ニューラルネットワーク (Artificial Neural Network: ANN) やマルチスプラインによる応答曲面法などを適用する妥当性は高いと考えられる¹²⁾。

これらの手法を実用的な課題に適用して、これらの手法の詳細とその有効性を確認した例については、次回以降に紹介するが、いずれにせよ上記の手法により、知覚を経由する食感性モデリングにより、嗜好度の高い味や香りの組合せが明らかになるとともに、その味や香りを実現する成分配合を明らかにすることも可能となる。さらに、同手法を社会属性の異なる消費者ごと、たとえば女子高生、社会人男性、高齢者などに、適用することにより、対象とする消費者の属性に合わせた香味仕様を決定する指針が得られる。また試料の作製が、製造につながる設計要素についての統計的な実験計画により行われたならば、最適な設計方法の導出も可能であると考えられる。

ここに述べた「食感性モデリング」の手法を食嗜好の計測・評価システムの構築や商品開発のツールとして実用的課題に適用した例を次号に述べる。

7. 将来展望

本稿では食感性のモデルについて簡潔に紹介したが、成分の計測手法、操作する付加情報、官能評価項目など、取得すべき変数データの具体的内容ひとつとっても、感性モデリングは未だ多くの課題を有している。また量的変数と質的変数の両方が存在し、それらの関数関係も様々であることから、複数のケモメトリクス手法やデータマイニング手法を応用することが必要と考えられる。しかしながら、本誌10月号の小特集記事「食感性工学による高齢者用介護食サプライシステムへの展開」の構想に述べたように、本手法を背景として、味覚センサーの小型・モバイル化、食品の香味評価尺度の標準化などの技術向上により、ユビキタス時代の到来により実現される社会システムへの期待は大きい。

本誌「最近気になる用語」で解説しているように、ユビキタスネットワークでは、従来の視聴覚情報の遠隔通信網に加えて味覚・嗅覚情報および地域・年齢・性別や食経験による嗜好の定量的な差異に関する情報を「いつでもどこでも安価に」交換することが可能になるとともに、消費者自身の食感性に適合するレストランや料理の

検索や、栄養だけでなく望ましい香味摂取を目的とした食育プログラムの開発と利用も実現可能と考えられる。

これら技術開発に併行し、非言語的に脳の活動を反映するEEG (Electroencephalography : 脳波記録) あるいは脳における情報処理過程に関連するEP (Evoked Potential : 誘発電位) の計測・分析を通じ、感性に関わる神経生理学的な活動を明らかにするなどの基盤的研究の進展に伴い、食感性に関わる脳内情報処理プロセスのモデリングや食嗜好形成メカニズムのモデリングなど、多様な目的に合致したモデリングやシステムの開発が活性化することが期待されている。

文 献

- 1) 相良泰行 : 冷凍, 78 (912), 818 (2003).
- 2) 相良泰行 : 冷凍, 78 (912), 818 (2003).
- 3) 相良泰行 : 「食品感性工学」, 朝倉書店, 東京, (1999).
- 4) 相良泰行 : 日本官能評価学会誌, 3 (2), 87 (1999).
- 5) 相良泰行 : 日本味と匂学会誌, 8 (2), 153 (2001).
- 6) M. Nagamachi : Applied Ergonomics, 33 (3), 89 (2002).
- 7) 川岸舜朗 : 「生物化学実験法38」, 学会出版センター, 東京, (1996).
- 8) L. Lasagna et al. : American J. Medicine 16, 770 (1954).
- 9) 今田純雄 : 日本官能評価学会誌, 6 (1), 3 (2002).
- 10) Fiske S. T. : "Affect and cognition", Hillsdale, NJ, Erlbaum, (1982).
- 11) Pihlsgard et al. : J. Agric. Food Chem., 47 (10), 4346 (1999).
- 12) Wailzer et al. : J. Med. Chem. 44 (17), 2805 (2001).